

한대의 LSV 를 이용한 3 차원 진동측정방법

Three-dimensional vibration measurement algorithm using one laser scanning vibrometer

김동규* · 송하준** · 박기환***

Dongkyu Kim, Hajun Song and Kyihwan Park

Key Words : Accelerometer(가속도계); 3D vibration measurement(3 차원 진동측정); Laser scanning vibrometer(레이저 스캐닝 진동측정기); Laser Doppler vibrometer(레이저 도플러 진동측정기); Laser scanner(레이저 스캐너)

ABSTRACT

3D vibration measurement is achieved using one laser scanning vibrometer(LSV) and Laser scanner(LS) by moving the LSV to three arbitrarily locations from the principle that vibration analysis based on the frequency domain is independent of the vibration signal based on time domain. The proposed system has the same effect as using three sets of LSVs. It has an advantage of reducing equipment costs. Analytical approach of obtaining in-plane and out-of-plane vibration of surface is introduced using geometrical relations between three LSV coordinates and vibration measured at three different locations

기 호 설 명

V_x, V_y, V_z : 면내, 면의 진동성분(속도)
 α, β, γ : 레이저빔과 로컬좌표축이 이루는 각도
 \mathbf{n} : 측정점의 법선벡터
 θ, ϕ : 좌표계 간의 회전각도
 \mathbf{e} : 좌표 변환과정에서 발생하는 에러
 \mathbf{R} : 좌표계사이의 변환행렬
 ϵ_{LSM} : 좌표 변환과정에서 발생하는 에러의 총합
 $\hat{i}_L, \hat{j}_L, \hat{k}_L$: 로컬좌표축의 단위벡터

1. 서 론

최근 각광을 받고 있는 비접촉식 진동측정기는 빛의 간섭을 이용하여 물체가 진동할 때 발생하는 속도를 도플러 주파수로 알아내는 방법으로 스캐너를 부착하여 측정면적 전체를 빠른 속도로 측정할 수

있다. 이와 같은 측정장치를 레이저 스캐닝 진동측정기(laser scanning vibrometer, 이하 LSV)라 부른다. LSV 는 미세한 속도를 고 분해능으로 측정할 수 있어 기계시스템, 전자기기, 자동차, 가전, 토목, 건축물, 비접촉으로 측정할 수 밖에 없는 회전기기, 접근하기 어려운 위험환경에서의 측정분야 등에 많이 사용되고 있다.

하지만, 비접촉식 진동측정기는 진동 측정 시 레이저가 진행하는 방향의 속도 성분만 측정이 가능하여 한대의 LSV 로는 측정면에 수직인 방향의 속도를 측정하기가 어려운 단점이 있다. 따라서 비접촉 진동측정기를 이용한 3 차원 진동측정을 위해서는 3 대의 LSV 가 필요로 한다. 최근에는 산업현장에서도 보다 정확하고 빠른 진동측정을 위해서 비접촉식 진동측정기를 이용한 3 차원 진동측정의 중요성이 더욱 커지고 있으며, 이와 관련된 연구사례로 2005 년에 Bendel⁽¹⁾이 파워공구의 보다 정확한 진동특성을 알아보기 위해 3D 스캐닝 레이저 도플러 진동측정기(3D scanning laser Doppler vibrometer, 3D SLDV)를 사용하여 파워공구의 진동을 측정하였고, 2006 년에는 Miyashita⁽²⁾에 의하여 3 대의 레이저 도플러 진동측정기(laser Doppler

* 광주과학기술원 기전공학부
 E-mail : akein@gist.ac.kr
 Tel : (062)715-2411, Fax : (062)715-2384

** 광주과학기술원 정보통신공학부

*** 광주 과학기술원 기전공학부 정교수

vibrometer, LDV)의 각도와 위치를 보정하여 3 차원 진동측정을 할 수 있는 방법이 제시되었다.

그렇지만, 3 차원 진동측정을 위해 3 대의 LSV 를 사용하므로 측정에 비용이 많이 드는 커다란 단점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 한대의 LSV 만을 이용한 3 차원 진동측정방법을 제안하고자 한다. 한대의 LSV 를 임의의 세 위치로 옮겨가면서 동일한 측정점에 대해 진동측정을 하면 3 대의 LSV 를 사용할 때와 마찬가지로 3 방향에서의 진동성분을 얻을 수 있다. 이 두 가지 방법은 세 방향에서 측정된 진동성분이 같은 시간 또는 다른 시간에 측정되는 차이가 있다. 그렇지만, 측정하고자 하는 대상이 가지고 있는 고유 주파수는 측정시간에 관계없이 일정하기 때문에 측정시간에 차이가 있더라도, 물체의 진동특성은 일정하게 유지된다. 따라서, 한대의 LSV 만으로도 3 차원 진동측정이 가능해진다. 또한 기존의 3 차원 진동측정방법과는 달리 프레임을 사용하지 않기 때문에 각 측정위치와 측정체간의 상대적인 기하학 정보를 알기 위해 각 측정위치에서 레이저 거리 측정장치(laser scanner, LS)를 이용한다.

2. 한대의 LSV 를 이용한 3 차원 진동측정 원리

기존의 3 대의 LSV 동시 측정방법은 그림 1(a)과

같이 1 대의 LS 와 3 대의 LSV 로 구성된다. LS 로 얻은 측정체의 3 차원 형상과 3 대의 LSV 로 얻은 속도를 이용하여 측정면의 분속을 얻어 주파수 영역으로 전환하여 측정체의 면내, 면외 진동특성을

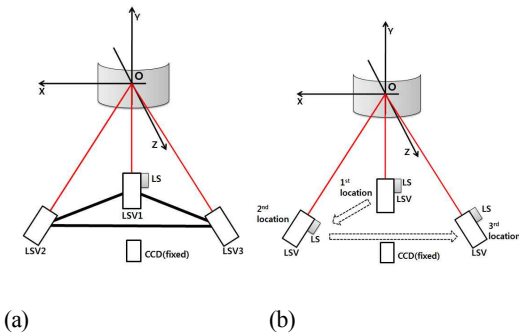


Figure 1 (a)기존의 3 차원 진동측정방법과 (b)제안하는 3 차원 진동측정방법의 비교

얻을 수 있다. 그러나 3 대의 LSV 를 사용함으로써 비용이 많이 들어 산업현장에서의 보편화가 어려운 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 새로운 진동측정방법을 제안한다.

제안한 시스템은 하나의 1 차원 LSV 와 LS 로 구성된다. 그림 1(b)에서와 같이 1 차원 LSV 를 3 회 이동하면서 측정체와 측정기 사이의 기하학적인 관계를 LIDAR 를 이용하여 자동으로 측정하면 3 대의 LSV 를 사용하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이는 한 대의 LSV 만을 가지고 측정하므로 비용이 저렴하다는 장점이 있다.

그림 2는 임의의 형상을 갖는 물체가 V_{real} 의 속도를 가지고 진동할 때 1 대의 LSV 로 첫 번째 위치(LSV1), 두 번째 위치(LSV2), 세 번째 위치(LSV3)에서 각각 진동을 측정하여 면내, 면외 속도 성분 V_x, V_y, V_z 를 구하기 위한 기하학적 관계를 보여준다.

그림 2 에 각각의 측정위치에서 LSV 좌표계 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 가 있고 측정점에서 로컬 좌표계 (x_L, y_L, z_L) 이 표시되어있다. 각 위치에서 측정된 속도를 V_1, V_2, V_3 로 정의한다. 로컬좌표계의 각 축과 V_1, V_2, V_3 가 이루는 각도를 α, β, γ 로 하며, 그림 2 에는 로컬좌표계의 각축과 V_1 이 이루는 각도 $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ 만을 대표적으로 표시한다.

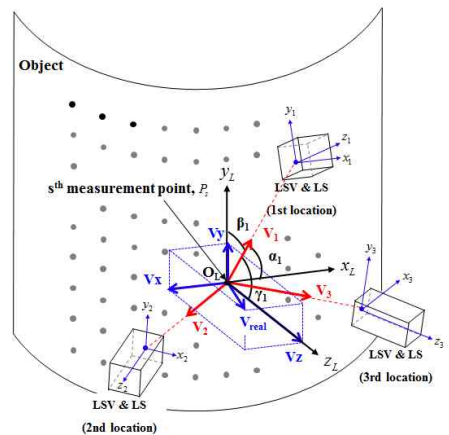


Figure 2 측정체의 임의의 측정점에서 실제 속도와 서로 다른 세 위치의 LSV 에서 측정된 속도의 관계

LSV 좌표계는 스캐너 모터에 의해 정의되어지고, 로컬좌표계는 측정점의 형상정보에 의해 정의되어진다. 로컬좌표계에서 z_L 축의 방향은 측정점에서 면에 수직인 방향으로 정의되고, x_L 축 방향은 1 번 좌표계의 x_1z_1 평면과 평행한 방향으로 정의 하였다. 마지막으로 y_L 축 방향은 z_L 축과 x_L 축의 외적방향으로 정의된다. 이렇게 정의된 좌표계를 통해 각 LSV 에서 측정된 속도로부터 측정점의 면내, 면외 속도 성분을 구할 수 있다.

기하학적으로 V_1, V_2, V_3 로부터 V_x, V_y, V_z 를 구하는 수식은 아래 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

V_1, V_2, V_3 는 각 위치에서 LSV로부터 바로 얻을 수 있는 정보이고, 코사인 값들을 알면 V_x, V_y, V_z 를 구할 수 있다. 이 코사인행렬은 로컬좌표계의 세 축과 레이저의 방향벡터가 이루는 각도에 의해 얻어진다. 로컬좌표계의 각 축의 벡터와 레이저의 방향벡터를 알면, 두 벡터의 내적을 이용하여 코사인 값을 구할 수 있다. 단, 두 벡터는 서로 같은 좌표계에 대해서 정의 되어야 한다.

3. 각 LSV 좌표계간의 변환행렬

3.1 형상정보취득

본 논문에서는 측정 물체의 곡면정보를 얻기 위해 3D LIDAR 를 이용한다. 또한 임의의 세 위치에서 측정된 형상정보를 비교하기 위해서 각 위치에서 측정하는 n 개의 측정점의 위치는 모두 같다고 가정한다. 이와 같은 가정은 LSV 내에 있는 영상기반의 스캐닝기술에 의해 이루어질 수 있다.

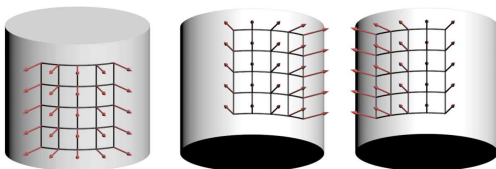


Figure 3 서로 다른 LSV 위치에서의 측정형상 및 법선벡터

각 위치에서 측정점의 로컬좌표계를 구하고, 또 각 위치에서 측정된 형상정보를 하나의 좌표계로 통일하기 위해서 서로 다른 LSV 좌표계에서 얻은 측정점의 법선벡터가 필요하다.

그림 3 은 서로 다른 세 곳의 LSV 측정위치에서 물체를 바라보았을 때, 물체의 형상을 나타낸 것이며 측정점에 표시된 벡터는 측정점에서의 실제 법선벡터를 의미한다.

LS 를 통해 얻은 형상정보를 이용해서 측정점의 법선벡터를 구할 수 있다. 본 논문에서는 Mean Weighted by Areas of Adjacent Triangles(MWAAT) 알고리즘(4)을 이용하여 정점에서 법선벡터를 구하였다.

각 위치에서 얻은 법선벡터들은 측정위치를 의미하는 변수 k 를 사용하여 수식 (2)와 같이 표현한다.

$$N_{x_k y_k z_k} = (n_1 \quad n_2 \quad \dots \quad n_s \quad \dots \quad n_n)_{x_k y_k z_k} \quad (2)$$

3.1 형상정보취득

좌표계의 통일을 위해서는 각 LSV 좌표계간의 변환관계를 알아야 한다. 변환관계를 정의하기 위해 그림 4 와 같이 1 번좌표계와 2 번좌표계의 관계를 정의하였다.

앞에서 각 측정위치에서 각각의 좌표계가 정의되었다. 먼저 1 번 좌표계(x_1, y_1, z_1)와 2 번 좌표계(x_2, y_2, z_2)는 그림 5 와 같이 서로 회전관계로 나타낼 수 있는데, 2 번 좌표계(x_2, y_2, z_2)는 1 번 좌표계(x_1, y_1, z_1)를 y_1 축을 기준으로 θ_{12} 만큼 회전한 좌표계

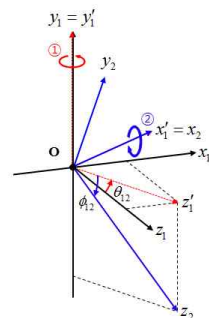


Figure 4 좌표계간의 회전관계

(x'_i, y'_i, z'_i) 를 다시 회전된 x'_i 축을 기준으로 ϕ_2 만큼 회전하여 얻어진다. 마찬가지로 3번 좌표계(x_3, y_3, z_3)도 1번 좌표계(x_1, y_1, z_1)를 y_1 축을 기준으로 θ_3 만큼 회전한 좌표계(x''_3, y''_3, z''_3)를 다시 회전된 x''_3 축을 기준으로 ϕ_3 만큼 회전하여 얻어진다.

이렇게 정의된 좌표계를 기준으로 수식 (3), (4)와 같이 2번 또는 3번 좌표계에서 1번 좌표계로의 변환식을 세울 수 있다.

$$\mathbf{(n)}_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{12} \times \mathbf{(n)}_{x_2, y_2, z_2} + \mathbf{e}_{12} \quad (3)$$

$$\mathbf{(n)}_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{13} \times \mathbf{(n)}_{x_3, y_3, z_3} + \mathbf{e}_{13} \quad (4)$$

$\mathbf{n}_{x_1, y_1, z_1}$, $\mathbf{n}_{x_2, y_2, z_2}$, $\mathbf{n}_{x_3, y_3, z_3}$ 는 각 LSV 위치에서 얻은 법선 벡터이다.

\mathbf{R}_{12} , \mathbf{R}_{13} 은 좌표계사이의 변환행렬인데, 각각 $x'_{2 \text{ or } 3}$, $y'_{2 \text{ or } 3}$ 축을 기준으로 한 두 회전행렬의 곱으로 표현된다.

\mathbf{e}_{12} 와 \mathbf{e}_{13} 는 서로 다른 LSV 위치에서 얻은 형상 정보의 차이로 인해 변환과정에서 생긴 오류를 의미하며 임의의 측정점 P_s 에 대해 수식(5)와 같이 표현한다.

$$\mathbf{e}_{s, 1k} = \begin{pmatrix} e_{s, x_{1k}} \\ e_{s, y_{1k}} \\ e_{s, z_{1k}} \end{pmatrix} \quad (5)$$

least squares 방법을 이용하여 각 측정점에서 생긴 에러들의 총합을 최소화하는 \mathbf{R}_{12} , \mathbf{R}_{13} 를 구할 수 있다. 그 방법은 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon_{LSM, 1k} = \sum_{i=1}^n \left(\left| \mathbf{e}_{i, 1k} \right|^2 \right) = \sum_{i=1}^n \left(\left| \mathbf{n}_{i, x_1, y_1, z_1} - \mathbf{R}_{1k} \times \mathbf{n}_{i, x_k, y_k, z_k} \right|^2 \right) \quad (6)$$

가능한 모든 회전각도 θ_{1k} , ϕ_k 에 대해 $\varepsilon_{LSM, 1k}$ 를 계산하면, $\varepsilon_{LSM, 1k}$ 가 최소가 될 때의 변환행렬 \mathbf{R}_{12} , \mathbf{R}_{13} 을 구할 수 있다. 같은 방법으로 1번 좌표계(x_1, y_1, z_1)와 로컬 좌표계(x_L, y_L, z_L)사이의 변환행렬 \mathbf{R}_{1L} 도 구할 수 있다.

4. 변환행렬을 통해 얻는 면내, 면외 진동성분

그림 5에서 임의의 측정점을 P_s 라고 할 때, 각 좌표계에서 점 P_s 의 좌표는 LS로부터 얻어지며, 각 좌표계에서 점 P_s 의 좌표로부터 측정점에서 각 좌표계의 원점을 향하는 레이저빔의 벡터 $(\mathbf{P}_{1,s})_{x_1, y_1, z_1}$, $(\mathbf{P}_{2,s})_{x_2, y_2, z_2}$, $(\mathbf{P}_{3,s})_{x_3, y_3, z_3}$ 를 얻을 수 있다.

최종적으로 구하고자 하는 로컬좌표축 x_L, y_L, z_L 와 각 레이저빔의 벡터가 이루는 각도(α, β, γ)는 레이저 빔의 벡터와 로컬좌표축의 방향벡터를 내적하여 구할 수 있는데, 이때 각 벡터는 서로 동일한 좌표계에 의해 정의되어야 한다. 앞서 얻은 레이저빔의 벡터들과 로컬좌표축의 방향벡터는 서로 다른 좌표계로 얻어졌기 때문에, 본 논문에서는 이들 벡터를 모두 1번 좌표계를 기준으로 통일하여 계산하고자 한다.

먼저 각 레이저빔의 벡터 $(\mathbf{P}_{1,s})_{x_1, y_1, z_1}$, $(\mathbf{P}_{2,s})_{x_2, y_2, z_2}$, $(\mathbf{P}_{3,s})_{x_3, y_3, z_3}$ 는 앞에서 얻은 변환행렬 \mathbf{R}_{12} , \mathbf{R}_{13} 를 이용하여 수식 (7), (8)과 같이 1번 좌표계로 변환이 된다.

$$(\mathbf{P}_{2,s})_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{12} \times (\mathbf{P}_{2,s})_{x_2, y_2, z_2} \quad (7)$$

$$(\mathbf{P}_{3,s})_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{13} \times (\mathbf{P}_{3,s})_{x_3, y_3, z_3} \quad (8)$$

로컬 좌표축의 방향벡터는 각각 로컬좌표축의 단위벡터로 표현할 수 있으며, 로컬좌표계를 기준으로 다음 수식 (9)와 같이 표현된다.

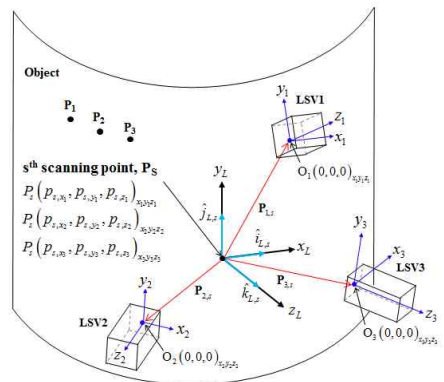


Figure 5 레이저 빔의 방향벡터 표시

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

이들 로컬좌표축의 벡터 또한 앞서 구한 변환행렬 \mathbf{R}_{IL} 를 이용하여 수식 (10)~(12)과 같이 1 번좌표계로 변환된다.

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{IL} \times \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_L, y_L, z_L} \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{IL} \times \begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_L, y_L, z_L} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \mathbf{R}_{IL} \times \begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_L, y_L, z_L} \quad (12)$$

이렇게 1 번좌표계로 정의된 레이저빔의 방향벡터와 로컬좌표축의 방향벡터를 수식 (13)~(15)와 같이 두 벡터의 내적관계를 이용하여 $\cos \alpha_k$, $\cos \beta_k$, $\cos \gamma_k$ 을 수식 (16)~(18)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \left| \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \cos \alpha_k, \quad (13)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \left| \begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \cos \beta_k, \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} = \left| \begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \cos \gamma_k, \quad (15)$$

$$\cos \alpha_k = \frac{\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1}}{\left| \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right|}, \quad (16)$$

$$\cos \beta_k = \frac{\begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1}}{\left| \begin{pmatrix} \hat{j}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{k}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right|}, \quad (17)$$

$$\cos \gamma_k = \frac{\begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1}}{\left| \begin{pmatrix} \hat{k}_L \\ \hat{i}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right| \left| \begin{pmatrix} \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \\ \mathbf{P}_k \end{pmatrix}_{x_1, y_1, z_1} \right|}. \quad (18)$$

이렇게 얻은 $\cos \alpha_k$, $\cos \beta_k$, $\cos \gamma_k$ 를 수식 (1)에 적용하면 얻고자 하는 면내, 면외 속도성분 V_x , V_y , V_z 를 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 한대의 LSV를 이용하여 3차원 진동 측정을 하는 알고리즘 및 시스템을 소개하였다. 제안된 방법은 3차원 진동측정에 비용절감의 장점이 있다. LS를 이용하여 얻은 기하학 정보로부터 각 측정위치를 얻어내고, 측정위치에 대한 정보로부터 각 측정위치에서 얻은 속도성분을 면내, 면외 속도성분으로 변환하는 것이 가능해졌다. 본 논문에서는 임의의 한 측정점에 대한 측정방법이 소개되었는데 이는 모든 측정점에 동일하게 적용이 가능하여 한대의 LSV만으로도 측정체의 3차원모드형상을 얻을 수 있어 보다 쉽게 측정체의 정확한 진동특성을 파악하는데 큰 역할을 수행할 것이다.

후 기

" 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0017876)."

참 고 문 헌

- (1) K. Bendel, M. Fischer, M. Schüssler, Vibrational analysis of power tools using a novel three dimensional scanning vibrometer, in: Proceedings of the Sixth International Conference of Vibration Measurement by Laser Techniques, SPIE 5503, pp. 177-184, 2004.
- (2) Miyashita, T. and Fujino, Y., "Development of Three Dimensional Vibration Measurement System using Laser Doppler Vibrometers," Proc. of SPIE, the International Society for Optical Engineering, Vol. 6177, Paper No. 61770I, 2006.
- (3) David E. Oliver, Matthias Schuessler, "Automated robot-based 3d vibration measurement system", Sound Vib, pp.12-15, April 2009
- (4) S. Jin, R. Lewis, and D. West, "A comparison of algorithms for vertex normal computation", The Visual Computer, vol. 21, no. 1-2, pp. 71-82, 2005.